

**ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЕ  
ОБОРУДОВАНИЕ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО  
О НАЗНАЧЕНИЯ**

## Особенности сельскохозяйственных предприятий как объектов теплоснабжения

1. Низкая плотность тепловых нагрузок и большая рассредоточенность потребителей
2. Большая неравномерность нагрузки и малый коэффициент использования максимума
3. Необходимость поддерживать оптимальные параметры микроклимата в сельскохозяйственных помещениях для нормальной жизнедеятельности животных, птицы и растений

Использование электрической энергии позволяет:

1. Автоматизировать технологические процессы
2. Сократить потери тепловой энергии
3. Увеличить привесы и снизить расход кормов
4. Повысить технический уровень производства.  
Производительность и культуру труда
5. Уменьшить загрязнение окружающей среды
6. Высвободить большое количество обслуживающего персонала
7. Увеличить надежность теплоснабжения

Низкотемпературный нагрев применяется для:

А)нагрева воздуха:

- в системах приточной вентиляции
- при создании оптимального температурно-влажностного режима (микроклимата)
- в системах рециркуляции овоще-, фруктохранилищ и т.д.
- при сушке сена, семян и др.

Б)нагрева воды и производства пара для:

- кормоприготовления
- санитарно-гигиенической обработки
- первичной обработки с.х. продукции
- отопления и вентиляции
- поливки растений
- различных технологических нужд

В)местного обогрева при использовании:

- инфракрасных облучателей для растениеводства и животноводства
- панелей, радиаторов, полов и т.п.

## Классификация электротермических установок

Способ нагрева	Механизм преобразования энергии	Область применения
Сопротивлением	Электрическая энергия превращается в тепловую при протекании тока	Нагрев и плавка металлов, воздуха, воды и др.
Электрической дугой	Электрическая энергия превращается в тепловую в дуговом разряде	Плавка металлов, электросварка, нагрев газов, резка металлов

<p><b>В переменном магнитном поле (индукционный)</b></p>	<p><b>Электрическая энергия превращается в энергию переменного магнитного поля, а затем в тепловую в проводящих материалах, помещенных в это поле</b></p>	<p><b>Плавка и нагрев металлов, нагрев металлов для передачи теплоты охлаждающей жидкости или газам</b></p>
<p>В переменном электрическом поле (диэлектрический)</p>	<p>Электрическая энергия превращается в энергию переменного электрического поля, а затем в тепловую в диэлектрических материалах, помещенных в это поле</p>	<p>Нагрев диэлектриков, пластмасс, древесины, сельскохозяйственной продукции</p>
<p>Квантами (инфракрасный и лазерный)</p>	<p>Электрическая энергия превращается в лучистую, а затем в тепловую в телах, на которые падает лучистый поток</p>	<p>Отопление помещений, людей. Животных, животных и птицы, сушка</p>

Содержание полного расчета электротермической установки (ЭТУ)

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ЭТУ

$$P_p = \Phi + \Phi_0 + \Phi_K + P_{\text{Э}}$$

где  $\Phi$ -полезный тепловой поток, необходимый для термического процесса (нагрев, испарение, плавление и др., Вт;  
 $\Phi_0$  - тепловой поток, теряемый через ограждающие поверхности установки, Вт;  
 $\Phi_K$ -тепловой поток, идущий на нагрев конструкций ЭТУ, Вт;  
 $P_{\text{Э}}$ —электрические потери в преобразователях и цепях управления, Вт



## Полезный поток

$$\Phi = \frac{Q}{t}$$

где  $Q$  – полезная теплота, Дж; (1 Дж =  $2,78 \cdot 10^{-4}$  Вт ч)  
 $t$  – время обработки, с.

Полезная теплота при:

нагреве материала

$$Q = M c_M (T_K - T_H) \quad (1)$$

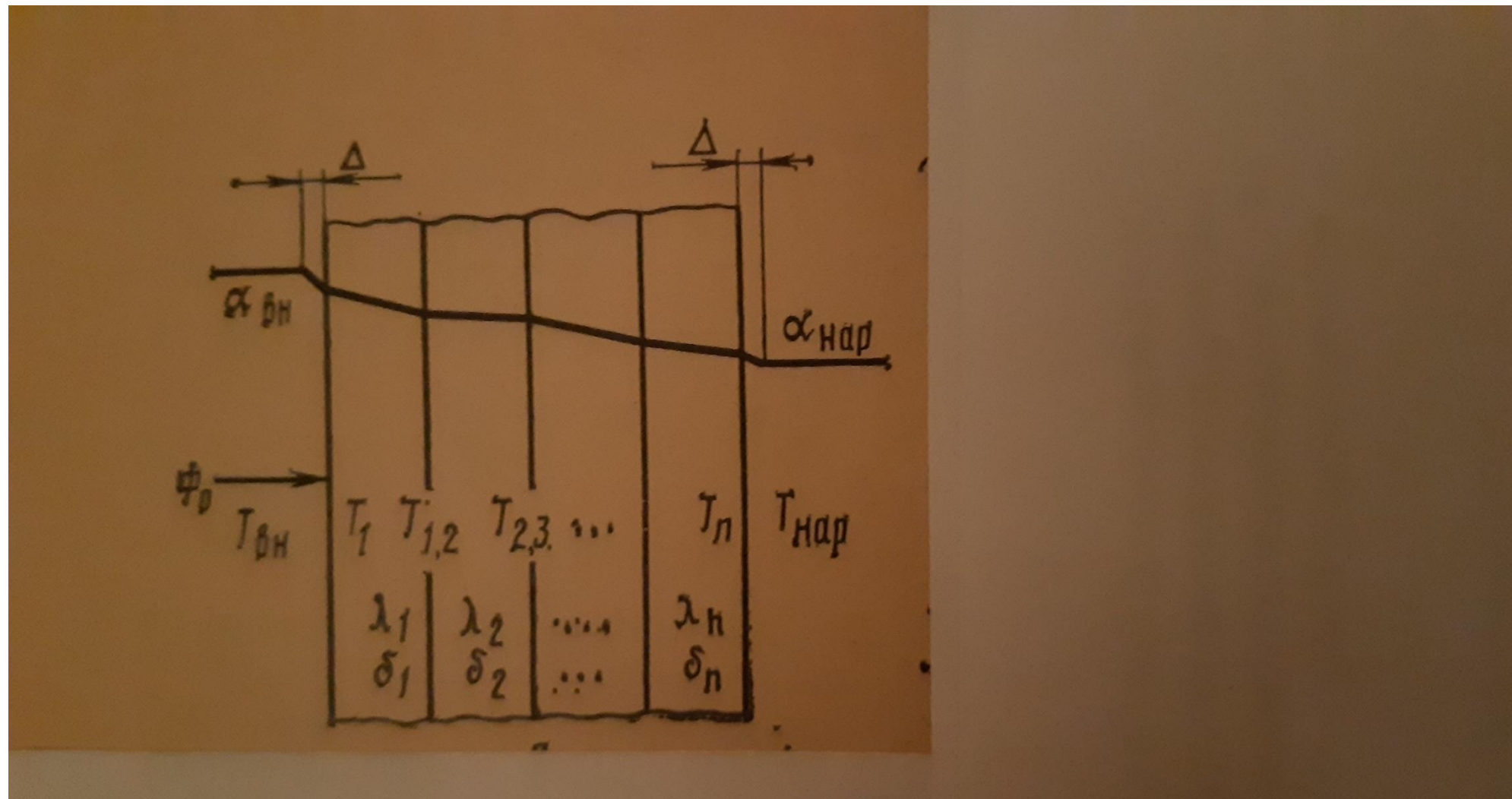
плавлении

$$Q = M \cdot c_M \cdot (T_{\Pi} - T_H) + M \cdot \lambda_{\theta} \quad (2)$$

испарении

$$Q = M \cdot c_M \cdot (T_{И} - T_H) + M \cdot r \quad (3)$$

Рисунок 1 – Расчетная схема ЭТУ с многослойной стенкой



Тепловой поток через многослойную стенку, Вт

$$\Phi_0 = \frac{\Delta T}{\frac{1}{A} \left( \frac{1}{\alpha_{\text{ВН}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{НАР}}} \right)} \quad (4)$$

где  $\Delta T$ -разность температур между внутренней и наружной средой, град;

$\alpha_{\text{ВН}}$ -коэффициент теплоотдачи от внутренней среды к внутренней поверхности стенки, Вт/(м<sup>2</sup> град);

$\alpha_{\text{НАР}}$ - коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности стенки ЭТУ к окружающей среде, Вт/(м<sup>2</sup> град);

$\lambda_i$  – теплопроводность  $i$ -го слоя изоляции, Вт/(м град);

$\delta_i$  – толщина  $i$ -го слоя изоляции, м;

$A$ -площадь поверхности стенки, м<sup>2</sup>;

$n$ -число слоев изоляции.

Расчетная мощность ЭТУ

$$P_P = \frac{\Phi}{\eta_T \eta_{\text{Э}}}$$

Установленная мощность ЭТУ

$$P_y = K_3 P_P$$

Тепловой поток  $\Phi$  – аналог силы тока

$$\Phi = \frac{\Delta T}{R_T}$$

Тогда формула (4) запишется следующим образом:

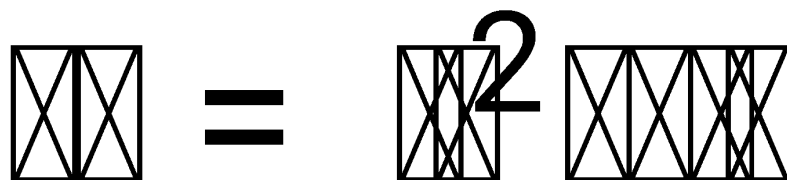
$$\Phi = \frac{\Delta T}{R_{BH} + \sum R_i + R_{HAP}}$$

где  $R_{BH} = \frac{1}{\alpha_{BH} \cdot A}$ ;  $R_{HAP} = \frac{1}{\alpha_{HAP} \cdot A}$ ;  $R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i A}$

# ЭЛЕКТРОНАГРЕВ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

## СПОСОБЫ НАГРЕВА СОПРОТИВЛЕНИЕМ

ЗАКОН ДЖОУЛЯ-ЛЕНЦА



# КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОНАГРЕВА СОПРОТИВЛЕНИЕМ

## ПРЯМОЙ НАГРЕВ

ПРОВОДНИК  
И 1 РОДА

НОСИТЕЛЬ  
ЗАРЯДА-ЭЛЕКТРОН

ЭЛЕКТРОКОНТАКТ  
НЫЙ

МЕТАЛЛЫ

ПРОВОДНИК  
И 2 РОДА

НОСИТЕЛЬ  
ЗАРЯДА-ИОН

ЭЛЕКТРОДНЫЙ

ЭЛЕКТРОЛИТ  
Ы

## КОСВЕННЫЙ НАГРЕВ

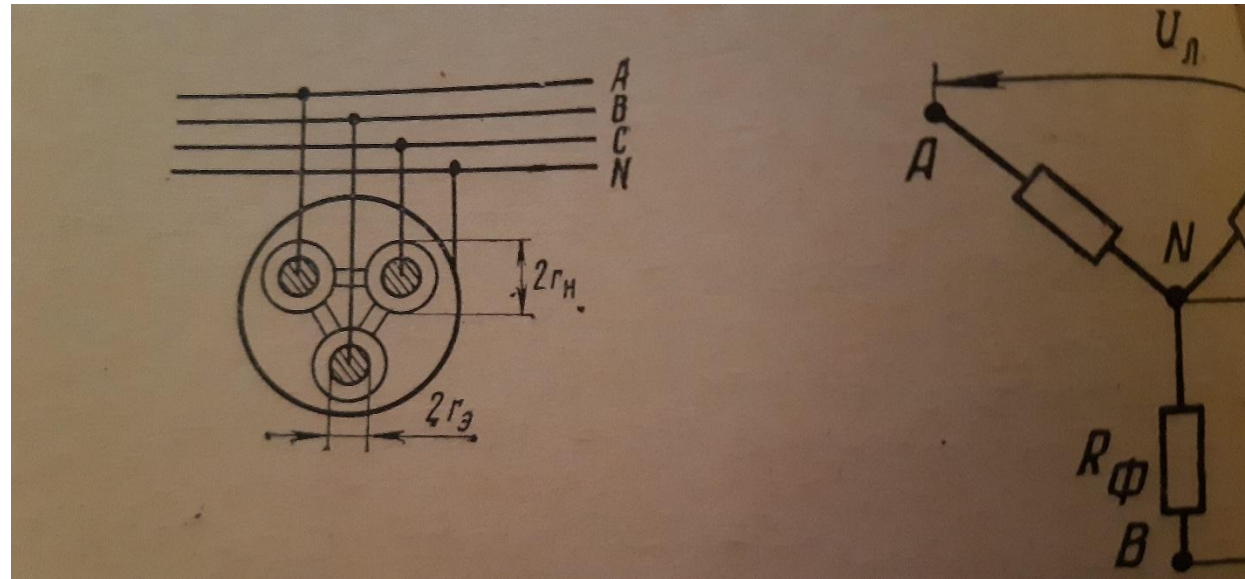
МЕХАНИЗМ НАГРЕВА:  
ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ, КОНВЕКЦИЯ,  
ИЗЛУЧЕНИЕ

ПРОВОДЯЩИЕ  
МАТЕРИАЛЫ

НЕПРОВОДЯЩИЕ  
МАТЕРИАЛЫ

# РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОДНОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ

РИСУНОК 1-КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМА АППАРАТА С КОАКСИАЛЬНО-ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ



$$E_{MAX} = \frac{U_\phi}{r_\varepsilon \cdot \ln \frac{r_n}{r_\varepsilon}}$$

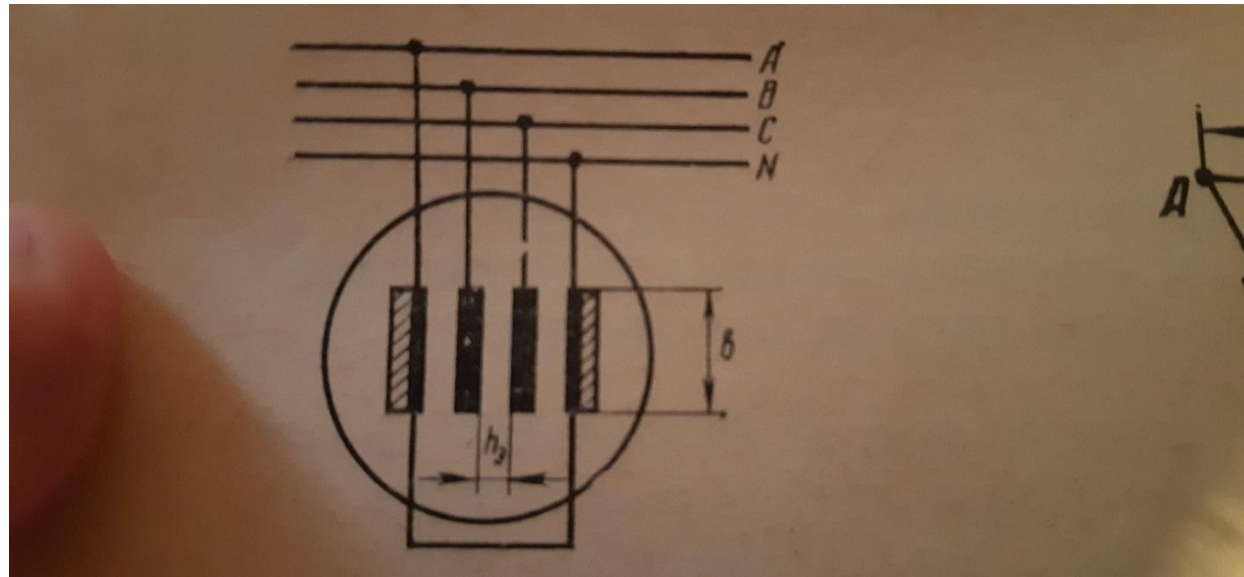
-максимальная  
напряженность  
электрического поля, В/м

$$k_{\varepsilon\Gamma} = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{r_n}{r_\varepsilon}$$

-геометрический  
коэффициент формы  
электродов



РИСУНОК 2-КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМА АППАРАТА С ПЛОСКО-ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ



## УСЛОВИЯ НОРМАЛЬНОЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

$$E_{\text{ДОП}} \geq E_{\text{МАХ}} \quad 1)$$

$$J_{\text{ДОП}} \geq J_{\text{МАХ}} \quad 2)$$

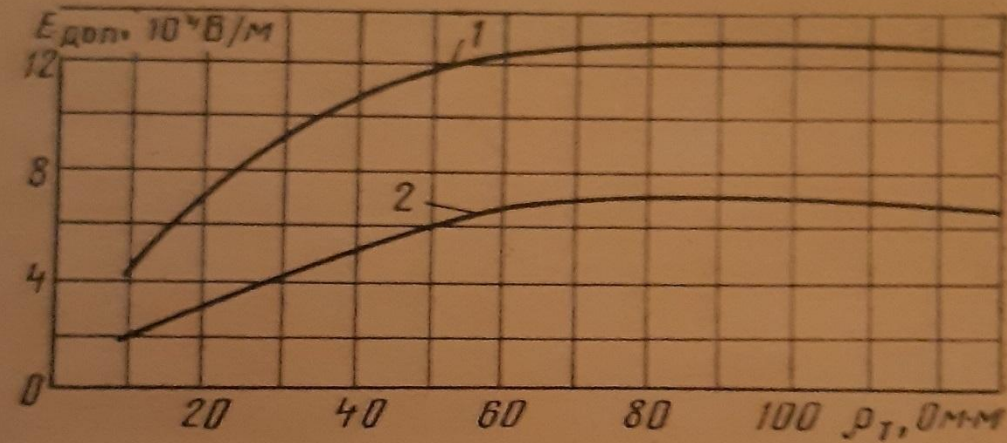
$E_{\text{ДОП}}$ -допустимая напряженность электрического поля между электродами, В/м

$E_{\text{МАХ}}$ -фактическая максимальная напряженность электрического поля в межэлектродном пространстве, В/м

$J_{\text{ДОП}}$ -допустимая плотность тока на электродах, А/м<sup>2</sup>

$J_{\text{МАХ}}$ -фактическая плотность тока на электродах, А/м<sup>2</sup>

РИСУНОК 3- ЗАВИСИМОСТЬ ДОПУСТИМОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ОТ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОДЫ



1-ДЛЯ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ; 2-ДЛЯ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОДНОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ:

$V_t$  – ОБЪЕМНЫЙ РАСХОД ВОДЫ, м<sup>2</sup>;

$\rho_{20}$  – УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОДЫ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 20°С, Ом м, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ  $E_{\text{ДОП}}$  В СООТВЕТСТВИИ С РИСУНКОМ 3 НА ПРЕДЫДУЩЕМ СЛАЙДЕ :

$$\rho_T = \frac{40\rho_{20}}{T_{\text{ВЫХ}} - 20} \quad 3)$$

$T_{\text{ВХ}}$  – ТЕМПЕРАТУРА ВОДЫ НА ВХОДЕ, °С

$T_{\text{ВЫХ}}$  – ТЕМПЕРАТУРА ВОДЫ НА ВЫХОДЕ, °С

ОПТИМАЛЬНОЕ ОТНОШЕНИЕ ДАМЕТРОВ НАРУЖНЕГО И ВНУТРЕННЕГО ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ КОАКСИАЛЬНО-ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (РИСУНОК 1)

$$\frac{d_{\text{Н}}}{d_{\text{Э}}} = e = 2,718 \quad 4)$$

где  $d_{\text{Н}}$ - диаметр наружного электрода, м  
 $d_{\text{Э}}$ -диаметр внутреннего электрода, м

МИНИМАЛЬНЫЙ ДИАМЕТР ВНУТРЕННЕГО ЭЛЕКТРОДА ИСХОДЯ ИЗ ДОПУСТИМОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА И НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

$$d_{\text{В}} \geq \frac{2k_{\text{Н}}U_{\text{Ф}}}{E_{\text{ДОП}}} \quad 5)$$

где  $U_{\text{Ф}}$  - фазное напряжение, В;

$k_{\text{Н}} = 1,1 \dots 1,4$  – коэффициент неравномерности тока на электродах;

$E_{\text{ДОП}}$  -допустимая напряженность электрического поля (определяется по рисунку 3)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ЭЛЕКТРОДОВ

$$h = \frac{40\rho_T k_{ЭГ} c_M \rho_B V_t}{3U_{\Phi}^2 \eta_T} \ln \frac{T_{ВЫХ}}{T_{ВХ}} \quad 6)$$

где  $\rho_T$  - удельное сопротивление воды при температуре 20 град, Ом м (выбирается по варианту задания);

$k_{ЭГ}$  - геометрический коэффициент электродной системы (См.рисунок 1);

$c_M$  - удельная теплоемкость воды,  $c_M=1,16$  (Вт ч)/(кг град);

$\rho_B$  - плотность воды,  $\rho_B=1000$  кг/м<sup>3</sup>;

$V_t$  - массовый расход воды, м<sup>3</sup>/ч (выбирается по заданию и варианту);

$\eta_T$  - термический КПД,  $\eta_T=0,95$ ;

$T_{ВЫХ}$  - температура воды на выходе (выбирается по заданию и варианту);

$T_{ВХ}$  - температура воды на входе (выбирается по заданию и варианту);

## РЕЗУЛЬТАТ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВЫРАЖЕНИЯ 6)

$$\frac{A}{V_t} = \ln \frac{T_{\text{ВЫХ}}}{T_{\text{ВХ}}} \quad 7)$$

где  $A = \frac{3U_{\Phi}^2 h \eta_T}{40 \rho_T k_{\text{ЭГ}} c_M \rho_B}$  - величина, не зависящая от расхода воды.

## МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРОДНОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ

$$P = \frac{c_M \rho_B V_t}{\eta_T} \cdot T_{\text{ВХ}} \cdot \left( e^{A/V_t} - 1 \right) \quad 8)$$